

10/069517

3 Rec'd PCT/PTO 05 MAR 2002

DOCKET NO.: 220040 US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Claude JAUSSAUD, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR00/02468

INTERNATIONAL FILING DATE: September 7, 2000

FOR: CREATION OF AN ELECTRICALLY CONDUCTING BONDING BETWEEN TWO SEMI-CONDUCTOR ELEMENTS

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
France	99 11224	08 September 1999

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/FR00/02468. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



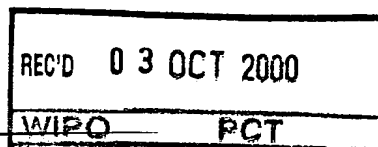
Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
Surinder Sachar
Registration No. 34,423



22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 1/97)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

4
DOCUMENT DE PRIORITÉ

COPIE OFFICIELLE

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 04 SEP. 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30

THIS PAGE BLANK (USPTO)

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **8 SEPT 1999**
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **9911224**
DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **75 INPI PARIS**
DATE DE DÉPÔT **08 SEP 1999**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

EREVATOME
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 PARIS

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande
de brevet européen

☐ demande initiale

☐ brevet d'invention

n° du pouvoir permanent 7068 du B 13188.37/JL 01 53 83 94 00
références du correspondant 12.06.98 DD 1854
date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé ☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

**REALISATION D'UN COLLAGE ELECTRIQUEMENT CONDUCTEUR ENTRE DEUX
ELEMENTS SEMI-CONDUCTEURS.**

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Forme juridique

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Etablissement public de Caractère Scientifique,
Technique et Industriel

Nationalité (s)

Française

Adresse (s) complète (s)

31,33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème

Pays

Franc

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

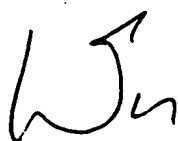
8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

J. LEHU
422-5/S002




BEST AVAILABLE COPY

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DEPARTEMENT DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

B 13188.3/JL

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

99.11224 du 08.09.1999

TITRE DE L'INVENTION :

**REALISATION D'UN COLLAGE ELECTRIQUEMENT CONDUCTEUR ENTRE DEUX
ELEMENTS SEMI-CONDUCTEURS.**

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

J. LEHU

c/o BREVATOME

3, rue du Docteur Lancereaux

75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

JAUSSAUD Claude

**6, allée des Tonnelles
38240 MEYLAN**

JALAGUIER Eric

**205, chemin des Roux
Le Penet
38410 SAINT-MARTIN-D'URIAGE**

MADAR Roland

**11, allée des Arcelles
38320 EYBENS**

FRANCE

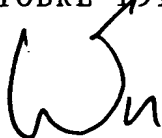
NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 8 OCTOBRE 1999

J. LEHU

422.5/S002



DOCUMENT COMPORTANT DES MODIFICATIONS

PAGE(S) DE LA DESCRIPTION OU DES REVENDEICATIONS OU PLANCHE(S) DE DESSIN			R.M.*	DATE DE LA CORRESPONDANCE	TAMPON DATEUR DU CORRECTEUR
Modifiée(s)	Supprimée(s)	Ajoutée(s)			
7				10.03.00	30 MARS 2000 - LB K

Un changement apporté à la rédaction des revendications d'origine, sauf si celui-ci découle des dispositions de l'article R.612-36 du code de la Propriété Intellectuelle, est signalé par la mention «R.M.» (revendications modifiées).

**REALISATION D'UN COLLAGE ELECTRIQUEMENT CONDUCTEUR
ENTRE DEUX ELEMENTS SEMI-CONDUCTEURS**

Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé permettant la réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs.

10

Etat de la technique antérieure

Le report d'un film mince de matériau semi-conducteur sur un support est souvent utilisé dans le domaine de la microélectronique. C'est le cas notamment pour les dispositifs élaborés sur GaAs pour lesquels il est préférable de disposer d'un substrat constitué d'un film mince de GaAs sur un support en silicium. Cette solution apporte plusieurs avantages. Elle permet de réduire les coûts puisque le GaAs est un matériau cher par rapport au silicium. Elle permet de simplifier la mise en oeuvre puisque l'AsGa est fragile et donc délicat à manipuler. Elle permet aussi de réduire le poids des composants, ce qui est un paramètre important pour les applications spatiales, puisque le silicium est plus léger que le GaAs.

Un tel report se fait de façon classique par collage par l'intermédiaire d'un oxyde, ce type de collage étant bien maîtrisé. Cependant, ce collage au moyen d'un oxyde présente la particularité d'isoler électriquement le film mince de son support. Or, pour certaines applications, il est nécessaire d'établir une conduction électrique verticale au travers du substrat. C'est le cas notamment des diodes élaborées sur un film de SiC formé sur un support en silicium et des cellules solaires réalisées par dépôt de GaAs sur du silicium.

Par ailleurs, certains types de transistors (par exemple les transistors à base perméable ou à base métallique) nécessitent d'avoir une couche métallique enterrée sous la couche de semi-conducteur à partir de laquelle ils sont élaborés. Ce type de couche est difficile à réaliser et le collage conducteur est la solution la plus simple pour réaliser ce type de structure.

Plusieurs solutions ont été proposées pour réaliser un collage conducteur de deux plaques de silicium. On peut citer l'article "Buried Cobalt Silicide layers in Silicon Created by Wafer Bonding" de K. LJUNGBERG et al., paru dans J. Electrochem. Soc., Vol. 141, No 10, octobre 1994, pages 2829-2833 et l'article "Low Temperature Silicon Wafer-to-Wafer Bonding with Nickel Silicide" de Zhi-Xiong Xiao et al., paru dans J. Electrochem. Soc., Vol. 145, No 4, avril 1998, pages 1360-1362. Toutes ces solutions consistent à former, à partir d'un métal déposé sur les faces des plaques à coller, un siliciure par réaction du métal et du matériau semi-conducteur. Ces solutions présentent deux inconvénients. D'une part, la formation de siliciure consomme une partie du film semi-conducteur, ce qui peut être un inconvénient dans le cas de films très minces. D'autres part, il y a diffusion du métal dans le semi-conducteur, ce qui a pour conséquence de dégrader ses propriétés. C'est en particulier le cas si on utilise du nickel. De plus, les composés formés ne sont pas stables à haute température, ce qui limite les possibilités de traitement thermique après réalisation du collage. Ces deux aspects peuvent être très importants si l'on désire, après le collage, effectuer une épitaxie qui peut mettre en oeuvre des températures élevées (de l'ordre de 1600°C dans le cas du SiC).

Expos' de l'invention

5 Afin de remédier aux inconvénients cités ci-dessus, il est proposé selon la présente invention d'utiliser un collage par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs couches ne réagissant pas avec au moins l'un des deux matériaux semi-conducteurs à relier électriquement.

10 L'invention a donc pour objet un procédé de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre une face d'un premier élément semi-conducteur et une face d'un deuxième élément semi-conducteur au moyen d'un traitement thermique, caractérisé en ce qu'il
15 consiste à :

 - appliquer lesdites faces l'une contre l'autre avec interposition d'au moins une couche d'un matériau destiné à assurer, après traitement thermique, un collage électriquement conducteur entre les deux
20 faces, des moyens étant prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction entre ledit matériau et au moins l'un des éléments semi-conducteurs,

 - réaliser ledit traitement thermique.

25 L'interposition peut consister à déposer au moins une couche d'un premier matériau sur ladite face du premier élément semi-conducteur et au moins une couche d'un deuxième matériau sur ladite face du deuxième élément semi-conducteur, ces couches déposées
30 se combinant lors dudit traitement thermique pour constituer une couche unique. Il peut alors être prévu une couche d'oxyde entre les couches des premier et deuxième matériaux, l'oxyde étant choisi pour réagir avec au moins l'un d'entre eux, les épaisseurs de la
35 couche d'oxyde et de la couche de matériau avec lequel

l'oxyde réagit étant telles que l'oxyde formé se présente sous la forme de précipités isolés qui n'altèrent pas sensiblement le collage électriquement conducteur. Cette couche d'oxyde peut être déposée sur
5 la couche de premier matériau et/ou sur la couche de deuxième matériau par exemple par une méthode choisie parmi le dépôt sous vide et le dépôt de type sol-gel.

Pour améliorer le collage, les premier et deuxième éléments semi-conducteurs peuvent être pressés
10 l'un contre l'autre lors du traitement thermique.

Les moyens prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction résultent du fait que le premier matériau et le deuxième matériau peuvent être choisis pour réagir en
15 phase solide lors du traitement thermique et former un mélange stable respectivement vis-à-vis d'au moins l'un des deux éléments semi-conducteurs. Il peut s'agir d'un mélange de matériaux identiques. A titre d'exemple, le premier élément semi-conducteur est du SiC et le
20 deuxième élément semi-conducteur est du SiC, l'interposition comprenant une couche de tungstène et une couche de silicium sur ladite face du premier élément semi-conducteur et une couche de tungstène et une couche de silicium sur ladite face du deuxième
25 élément semi-conducteur, le mélange formé après le traitement thermique comprenant du WSi_2 .

Les moyens prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction peuvent également comprendre une barrière de diffusion disposée
30 entre au moins l'un des éléments semi-conducteurs et la couche de matériau qu'il supporte, ladite barrière de diffusion empêchant la formation d'un produit de réaction avec cet élément semi-conducteur. Selon un premier exemple, le premier élément semi-conducteur est
35 SiC, sa barrière de diffusion est TiN et le premier

matériau est Ti, le deuxième élément semi-conducteur est Si et le deuxième matériau est Ti. Selon un deuxième exemple, le premier élément semi-conducteur est GaAs, sa barrière de diffusion est choisie parmi WSiN et TiN et le premier matériau est Ti, le deuxième élément semi-conducteur est Si et le deuxième matériau est Ti.

Si l'un des éléments semi-conducteurs est un film mince, le procédé peut comprendre une étape préliminaire consistant à définir ce film mince comme couche superficielle d'un substrat, destinée à être séparée du reste du substrat. Selon un premier exemple de réalisation, lors de l'étape préliminaire, le substrat est formé par empilement d'un support, d'une couche sacrificielle et du film mince, la séparation du film mince du reste du substrat étant obtenue, après réalisation du collage, par dissolution de la couche sacrificielle. Selon un deuxième exemple de réalisation, lors de l'étape préliminaire, le film mince est délimité dans un substrat par une couche de microcavités obtenue par implantation ionique, la séparation du film mince du reste du substrat étant consécutive au traitement thermique de collage ou à un traitement thermique spécifique ou encore à l'application de forces mécaniques ou à la combinaison d'un traitement thermique et de l'application de forces mécaniques.

Brève description des dessins

30

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

35

- les figures 1A à 1D illustrent un premier exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention,

5 - les figures 2A à 2D illustrent un deuxième exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention,

10 - les figures 3A à 3E illustrent un troisième exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention,

15 - les figures 4A à 4D illustrent un quatrième exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention,

20 - les figures 5A à 5D illustrent un cinquième exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention,

 - les figures 6A à 6D illustrent un sixième exemple de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre deux éléments semi-conducteurs, selon le procédé de l'invention.

25 **Description détaillée de modes de réalisation de l'invention**

30 L'invention propose de réaliser un collage par l'intermédiaire de couches qui ne réagissent pas avec l'un ou l'autre des éléments semi-conducteurs à relier électriquement. ~~Deux approches de la solution~~ proposée peuvent être considérées.

35 Selon une approche cinétique, on utilise des couches qui ne sont stables thermo-dynamiquement

avec l'un ou l'autre des matériaux semi-conducteurs aux températures utilisées lors de la réalisation des dispositifs, et lors de leur utilisation, qu'après le traitement thermique de collage des deux éléments semi-conducteurs. Par exemple, dans le cas du report de carbure de silicium sur du silicium, on peut utiliser les empilements suivants : élément en SiC/couche de W/couche de Si-couche de Si/couche de W/SiC, le silicium pouvant être amorphe ou cristallin. Lors du traitement thermique, le tungstène réagit avec le silicium pour former du WSi_2 . Pour une structure SiC/W (épaisseur 0,1 μm)/Si (épaisseur 0,25 μm)- Si (épaisseur 0,25 μm)/W (épaisseur 0,1 μm)/SiC, on obtient SiC/ WSi_2 /SiC. La réaction se produit à 650°C, en impliquant la réaction du silicium avec le tungstène, sans consommation du film mince de SiC et le système est stable à plus de 1600°C.

Les figures 1A à 1D sont des vues transversales qui illustrent un premier exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour lequel le collage est réalisé selon une approche cinétique. La figure 1A montre une plaque 10 en SiC recouverte successivement d'une couche 11 de titane et d'une couche 15 de silicium. La figure 1B montre une plaque 12 de SiC recouverte successivement d'une couche 13 de tungstène et d'une couche 16 de silicium. La figure 1C montre l'association des structures représentées aux figures 1A et 1B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 15 et 16. Après traitement thermique à 650°C, on obtient l'assemblage représenté à la figure 1D. La plaque 10 en SiC est reliée par un collage électriquement conducteur à la plaque 12 en SiC grâce à la couche intermédiaire 14 formée entre les deux plaques et comprenant du WSi_2 .

Selon une approche utilisant une barrière de diffusion, on interpose entre un élément semi-conducteur et la couche de collage qu'il supporte, et qui normalement réagirait au contact du semi-conducteur lors du traitement thermique, une couche supplémentaire qui ne réagit pas avec le semi-conducteur. Par exemple, pour un collage électriquement conducteur entre une plaque de SiC et une plaque de Si, on peut réaliser l'empilement suivant SiC/TiN/Ti - Ti/Si. Pour un collage entre une plaque de GaAs et une plaque de silicium, on peut réaliser les empilements suivants :

GaAs/WSiN/Ti - Ti/Si
GaAs/TiN/Ti - Ti/Si.

Dans le cas d'un empilement GaAs/WSiN (épaisseur 0,2 μm)/Ti(épaisseur 0,1 μm)-Ti(épaisseur 0,1 μm)/Si, on obtient une structure GaAs/WSiN//TiSi₂/Si. La réaction se produit à 650°C en impliquant la réaction du silicium avec le titane. Le WSiN ne réagit ni avec le GaAs ni avec le titane et empêche la diffusion du titane vers le GaAs. Le système est stable jusqu'à 1330°C (limité par la formation d'un eutectique entre TiSi₂ et Si à cette température).

Les couches de TiN ou de WSiN, interposées entre le titane et le GaAs ou le SiC, évitent la réaction du titane avec le semi-conducteur et sa diffusion dans celui-ci.

Les figures 2A à 2D sont des vues transversales qui illustrent un deuxième exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour lequel le collage est réalisé selon une approche barrière de diffusion. La figure 2A montre une plaque 20 en SiC recouverte d'une couche 21 de TiN de 0,1 μm d'épaisseur formant barrière de diffusion elle-même recouverte d'une couche 22 de titane de 0,1 μm d'épaisseur. La figure 2B montre une plaque 23 de silicium recouverte

d'une couche 24 de Ti de 0,1 μm d'épaisseur. La figure 2C montre l'association des structures représentées aux figures 2A et 2B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 22 et 24. Après traitement thermique, on obtient l'assemblage représenté à la figure 2D. La plaque 20 de SiC est reliée par un collage électriquement conducteur à la plaque 23 en silicium grâce à la couche intermédiaire 26 comprenant du TiSi_2 ou un mélange de TiSi_2 et de Ti. La réaction se produit à 650°C en impliquant la réaction du silicium avec le titane, sans consommation du film mince de SiC et le système est stable jusqu'à 1330°C (limité par la formation d'un eutectique entre TiSi_2 et Si à cette température).

Un tel collage électriquement conducteur peut être utilisé pour coller un film mince semi-conducteur sur un support semi-conducteur. Afin d'obtenir ce film mince on peut réduire l'épaisseur de l'une des deux plaques collées. Ceci présente deux inconvénients majeurs. D'une part il est difficile d'obtenir un film mince homogène en épaisseur et, d'autre part, il y a perte du reste de plaque semi-conductrice fournissant ce film. La présente invention permet également de remédier à ces inconvénients. Une première solution met en oeuvre une couche sacrificielle. Une seconde solution met en oeuvre une méthode de clivage après implantation ionique.

Les figures 3A à 3E sont des vues transversales qui illustrent la réalisation d'un collage électriquement conducteur, selon une approche cinétique, entre une plaque semi-conductrice de SiC et un film mince en SiC obtenu par dissolution d'une couche sacrificielle. La figure 3A montre une plaque 30 en silicium recouverte d'une couche 31 d'oxyde ou de nitrure de silicium qui servira de couche

sacrificielle. La couche sacrificielle 31 est recouverte successivement d'une couche 32 en SiC, qui fournira le film mince, d'une couche 33 de tungstène et d'une couche 37 de silicium. La figure 3B montre une plaque 34 de SiC recouverte d'une couche 35 en tungstène et d'une couche 38 en silicium. La figure 3C montre l'association des structures représentées aux figures 3A et 3B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 37 et 38. Après traitement thermique à 650°C, on obtient l'assemblage représenté à la figure 3D. La couche 32 en SiC est reliée par un collage électriquement conducteur à la plaque 34 en SiC grâce à la couche intermédiaire 36 constituée de WSi_2 . La couche sacrificielle est ensuite dissoute par une technique connue de l'homme de l'art. On obtient d'une part la structure représentée à la figure 3E, c'est-à-dire un film mince de SiC collé par une liaison électrique à un support en SiC, et d'autre part une plaque de silicium réutilisable. Selon une variante de réalisation, la plaque 34 peut être en silicium.

Les figures 4A à 4D sont des vues transversales qui illustrent la réalisation d'un collage électriquement conducteur, selon une approche barrière de diffusion, entre une plaque semi-conductrice de silicium et un film mince en SiC obtenu par dissolution d'une couche sacrificielle. La figure 4A montre une plaque 40 en silicium recouverte d'une couche 41 d'oxyde ou de nitrure de silicium qui servira de couche sacrificielle. La couche sacrificielle 41 est recouverte successivement d'une couche 42 en SiC, qui fournira le film mince, d'une couche 43 en TiN servant de barrière de diffusion et d'une couche 44 de titane. La figure 4B montre une plaque 45 de silicium recouverte d'une couche 47 de titane. La figure 4C montre l'association des structures représentées aux

figures 4A et 4B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 44 et 47. Après traitement thermique et dissolution de la couche sacrificielle, on obtient la structure représentée à la figure 4D où la référence
 5 48 représente une couche comprenant du TiSi_2 ou du TiSi et du titane.

Les figures 5A à 5D sont des vues transversales qui illustrent la réalisation d'un collage électriquement conducteur, selon une approche
 10 cinétique, entre une plaque semi-conductrice de SiC et un film mince en SiC obtenu par clivage après implantation ionique. La figure 5A montre une plaque 50 en SiC dans laquelle une couche 51 de microcavités a été engendrée par implantation ionique, au travers de
 15 l'une des faces de la plaque 50, selon la technique divulguée par le document FR-A-2 681 472. Une couche 52 de tungstène et une couche 57 de silicium ont été successivement déposées sur la face implantée de la plaque 50. La figure 5B montre une plaque 53 de SiC recouverte d'une couche 54 en tungstène et d'une couche
 20 58 en silicium. La figure 5C montre l'association des structures représentées aux figures 5A et 5B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 57 et 58. Après traitement thermique, on obtient
 25 l'assemblage représenté à la figure 5D. Le traitement thermique a provoqué le clivage de la plaque 50 le long de la couche de microcavités. Il subsiste un film mince 55 de SiC relié par un collage électriquement conducteur à la plaque 53 en SiC grâce à la couche
 30 intermédiaire 56 comprenant du WSi_2 . Le reste de la plaque 50 peut alors être réutilisé.

Les figures 6A à 6D sont des vues transversales qui illustrent la réalisation d'un collage électriquement conducteur, selon une approche
 35 barrière de diffusion, entre une plaque semi-

conductrice de silicium et un film mince en SiC obtenu par clivage après implantation ionique. La figure 6A montre une plaque 60 en SiC dans laquelle une couche 61 de microcavités a été engendrée par implantation ionique, au travers de l'une des faces de la plaque 60, selon la technique divulguée par le document FR-A-2 681 472. Une couche 62 de TiN a été déposée sur la face implantée de la plaque 60 pour servir de barrière de diffusion. Une couche 63 de titane a ensuite été déposée sur la couche 62. La figure 6B montre une plaque 64 en silicium recouverte d'une couche 66 de titane. La figure 6C montre l'association des structures représentées aux figures 6A et 6B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 63 et 66. Le traitement thermique a provoqué le clivage de la plaque 60 le long de la couche de microcavités. Il subsiste un film mince 67 de SiC relié par un collage électriquement conducteur à la plaque 64 en silicium grâce à la couche intermédiaire 68 comprenant du TiSi_2 ou du TiSi_2 et du titane. Le reste de la plaque 60 peut alors être réutilisé.

De façon avantageuse, afin d'améliorer le collage, on peut appliquer une pression entre les structures assemblées. On peut aussi, conjointement ou non, utiliser une fine couche d'oxyde sur la surface d'au moins l'une des structures pour diminuer la pression nécessaire pour le collage, voire l'annuler. Cette couche d'oxyde doit être suffisamment fine (quelques angströms) et apte à interagir avec au moins l'un des matériaux de collage pour former à l'issue du procédé des précipités qui ne feront pas obstacle à la conduction électrique. Lors du traitement thermique, la fine couche d'oxyde réagit avec le métal qui lui est présenté, si celui-ci est suffisamment électropositif, pour former des oxydes métalliques qui se présentent

sous la forme de précipités isolés. C'est en particulier le cas du titane qui réagit avec l'oxyde SiO_2 pour former TiO_2 en libérant du silicium. Ainsi, un empilement SiC/SiO_2 (de $0,01 \mu\text{m}$ d'épaisseur)- SiO_2 (de $0,01 \mu\text{m}$ d'épaisseur)/Ti (de $0,1 \mu\text{m}$ d'épaisseur)/Si fournit la structure $\text{SiC}/(\text{TiSi}_2 + \text{TiO}_x)/\text{Si}$. La réaction se produit à 1000°C , en impliquant la réaction du silicium avec le titane et la réduction du SiO_2 par le titane, sans consommation du film mince de SiC . Le SiO_2 doit être mince pour que le TiO_2 ne forme pas de couche continue. Le système est stable jusqu'à 1330°C (limité par la formation d'un eutectique entre TiSi_2 et Si à cette température).

REVENDEICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un collage électriquement conducteur entre une face d'un premier
5 élément semi-conducteur (10,20,32,42,55,67) et une face d'un deuxième élément semi-conducteur (12, 23, 34, 45, 53, 64) au moyen d'un traitement thermique, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- appliquer lesdites faces l'une contre
10 l'autre avec interposition d'au moins une couche (11, 13, 15, 16 ; 21, 22, 24 ; 33, 35, 37, 38 ; 43, 44, 47 ; 52, 54, 57, 58 ; 63, 66) d'un matériau destiné à assurer, après traitement thermique, un collage électriquement conducteur entre les deux faces, des
15 moyens étant prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction entre ledit matériau et au moins l'un des éléments semi-conducteurs,

- réaliser ledit traitement thermique.

2. Procédé selon la revendication 1,
20 caractérisé en ce que ladite interposition consiste à déposer au moins une couche d'un premier matériau sur ladite face du premier élément semi-conducteur et au moins une couche d'un deuxième matériau sur ladite face
25 du deuxième élément semi-conducteur, ces couches déposées se combinant lors dudit traitement thermique pour constituer une couche unique.

3. Procédé selon la revendication 2,
caractérisé en ce qu'il est prévu une couche d'oxyde
30 entre les couches des premier et deuxième matériaux, l'oxyde étant choisi pour réagir avec au moins l'un d'entre eux, les épaisseurs de la couche d'oxyde et de la couche de matériau avec lequel l'oxyde réagit étant telles que l'oxyde formé se présente sous la forme de

précipités isolés qui n'altèrent pas sensiblement le collage électriquement conducteur.

5 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite couche d'oxyde est déposée sur la couche de premier matériau et/ou sur la couche de deuxième matériau.

10 5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les premier et deuxième éléments semi-conducteurs sont pressés l'un contre l'autre lors du traitement thermique.

15 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que les moyens prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction résultent du fait que le premier matériau (11, 15, 33, 37, 52, 57) et le deuxième matériau (13, 16, 35, 38, 54, 58) sont choisis pour réagir en phase solide lors du traitement thermique et former un mélange stable respectivement vis-à-vis du premier (10, 32, 55) et du deuxième (12, 34, 53) élément semi-conducteur.

20 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le premier élément semi-conducteur est du SiC et le deuxième élément semi-conducteur est du SiC, l'interposition comprenant une couche de tungstène et une couche de silicium sur ladite face du premier élément semi-conducteur et une couche de tungstène et une couche de silicium sur ladite face du deuxième élément semi-conducteur, le mélange formé après le traitement thermique comprenant du WSi_2 .

30 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que les moyens prévus pour que le traitement thermique n'induisse pas de produit de réaction comprennent une barrière de diffusion (21, 43, 62) disposée entre au moins l'un des

35

éléments semi-conducteurs et la couche de matériau qu'il supporte, ladite barrière de diffusion empêchant la formation d'un produit de réaction avec cet élément semi-conducteur.

5 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le premier élément semi-conducteur est SiC, sa barrière de diffusion est TiN et le premier matériau est Ti, le deuxième élément semi-conducteur est Si et le deuxième matériau est Ti.

10 10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le premier élément semi-conducteur est AsGa, sa barrière de diffusion est choisie parmi WSiN et TiN et le premier matériau est Ti, le deuxième élément semi-conducteur est Si et le
15 deuxième matériau est Ti.

 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, l'un des éléments semi-conducteurs étant un film mince (32, 42, 55, 67), le procédé comprend une étape préliminaire
20 consistant à définir ce film mince comme couche superficielle d'un substrat, destinée à être séparée du reste du substrat.

 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que, lors de l'étape préliminaire, le
25 substrat est formé par empilement d'un support (30, 40), d'une couche sacrificielle (31, 41) et du film mince (32, 42), la séparation du film mince du reste du substrat étant obtenue, après réalisation du collage, par dissolution de la couche sacrificielle (31, 41).

30 13. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que, lors de l'étape préliminaire, le
~~film mince est délimité dans un substrat (50, 60) par~~
une couche de microcavités (51, 61) obtenue par
implantation ionique, la séparation du film mince du
35 reste du substrat étant consécutive au traitement

thermique de collage ou à un traitement thermique spécifique ou encore à l'application de forces mécaniques ou à la combinaison d'un traitement thermique et de l'application de forces mécaniques.

5

avec l'un ou l'autre des matériaux semi-conducteurs aux températures utilisées lors de la réalisation des dispositifs, et lors de leur utilisation, qu'après le traitement thermique de collage des deux éléments semi-conducteurs. Par exemple, dans le cas du report de carbure de silicium sur du silicium, on peut utiliser les empilements suivants : élément en SiC/couche de W/couche de Si-couche de Si/couche de W/SiC, le silicium pouvant être amorphe ou cristallin. Lors du traitement thermique, le tungstène réagit avec le silicium pour former du WSi_2 . Pour une structure SiC/W (épaisseur 0,1 μm)/Si (épaisseur 0,25 μm)- Si (épaisseur 0,25 μm)/W (épaisseur 0,1 μm)/SiC, on obtient SiC/ WSi_2 /SiC. La réaction se produit à 650°C, en impliquant la réaction du silicium avec le tungstène, sans consommation du film mince de SiC et le système est stable à plus de 1600°C.

Les figures 1A à 1D sont des vues transversales qui illustrent un premier exemple de mise en oeuvre du procédé selon l'invention pour lequel le collage est réalisé selon une approche cinétique. La figure 1A montre une plaque 10 en SiC recouverte successivement d'une couche 11 de tungstène et d'une couche 15 de silicium. La figure 1B montre une plaque 12 de SiC recouverte successivement d'une couche 13 de tungstène et d'une couche 16 de silicium. La figure 1C montre l'association des structures représentées aux figures 1A et 1B, ces structures étant mises en contact par leurs couches 15 et 16. Après traitement thermique à 650°C, on obtient l'assemblage représenté à la figure 1D. La plaque 10 en SiC est reliée par un collage électriquement conducteur à la plaque 12 en SiC grâce à la couche intermédiaire 14 formée entre les deux plaques et comprenant du WSi_2 .

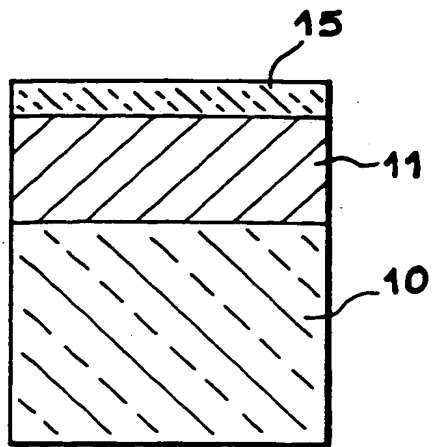


FIG. 1 A

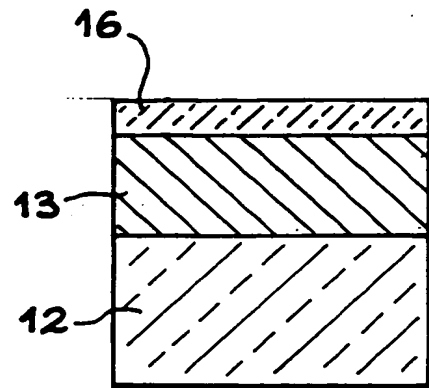


FIG. 1 B

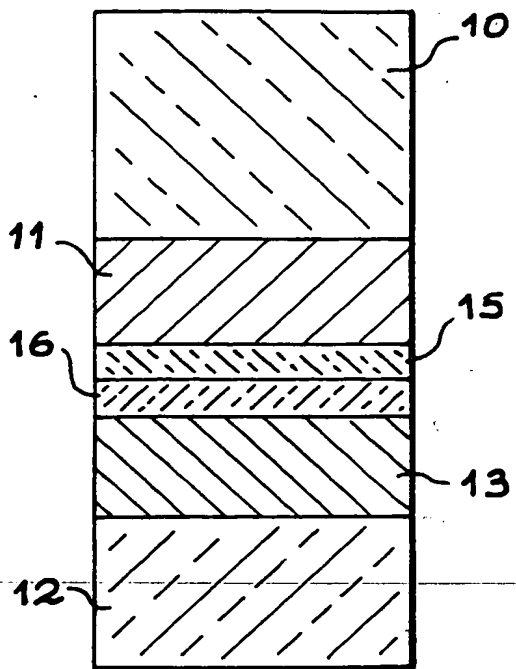


FIG. 1 C

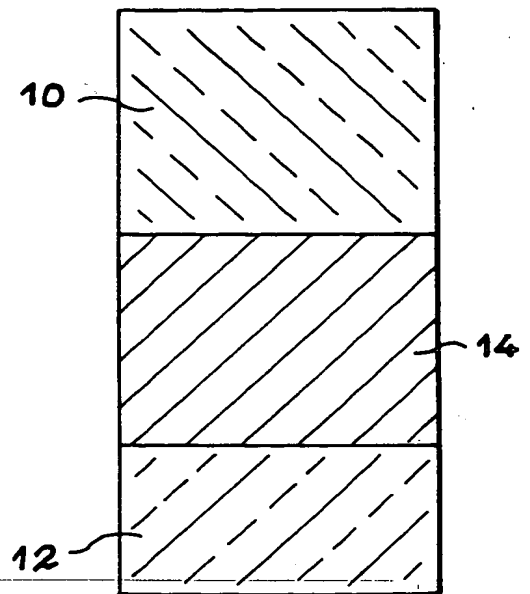


FIG. 1 D

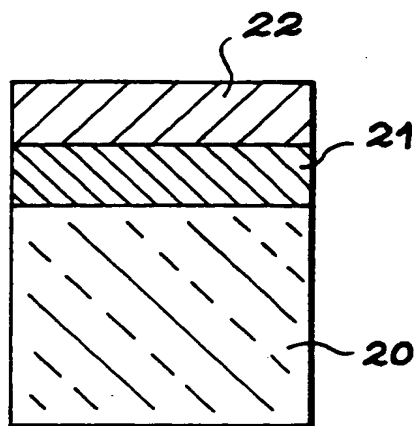


FIG. 2 A

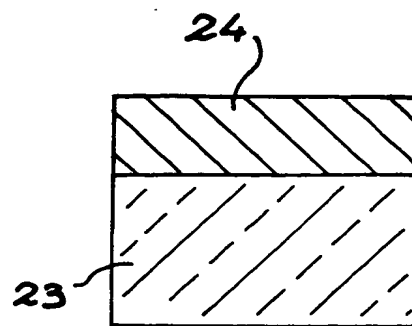


FIG. 2 B

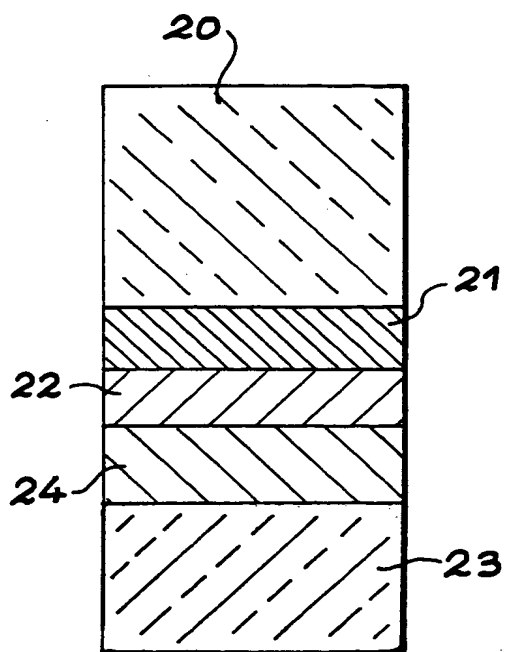


FIG. 2 C

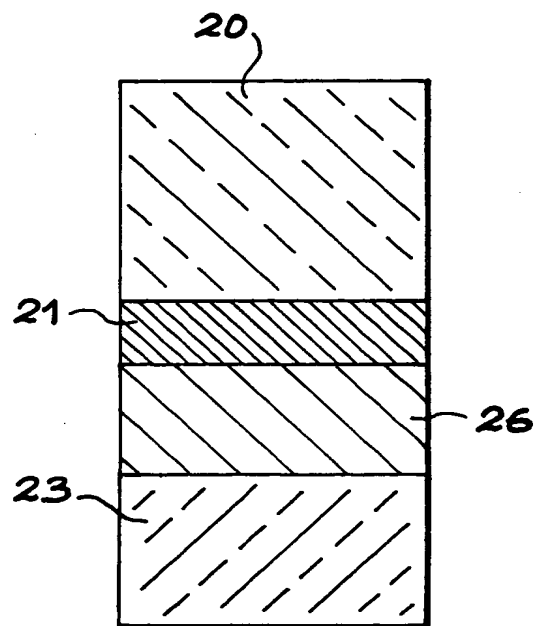


FIG. 2 D

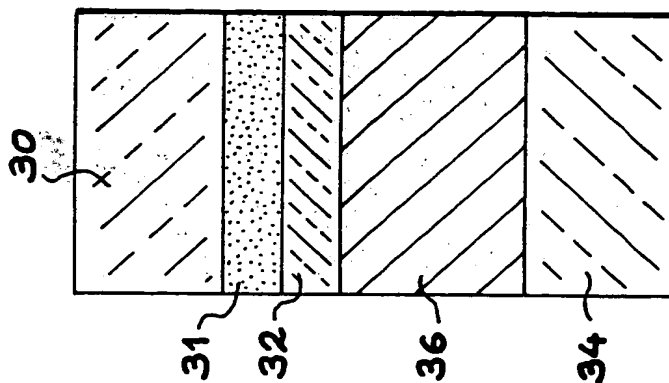
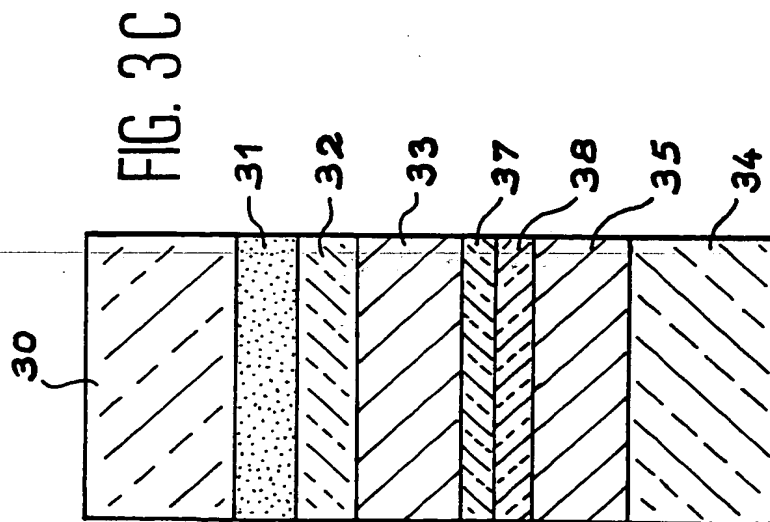
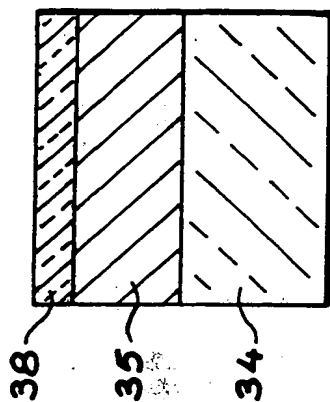
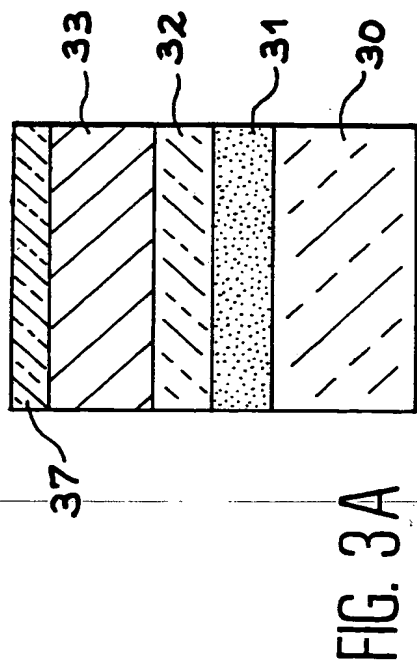
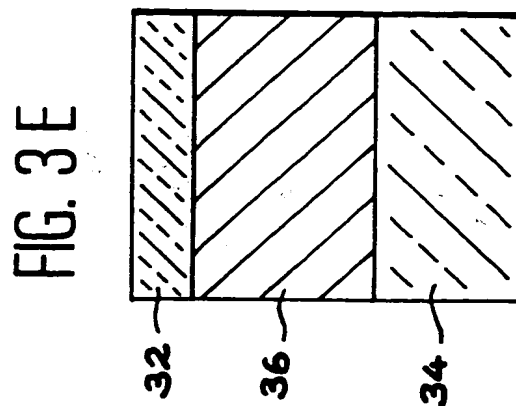


FIG. 3D



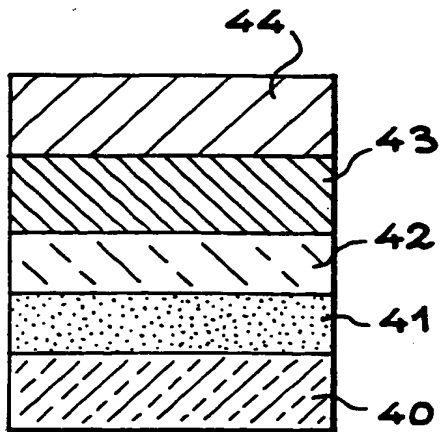


FIG. 4 A

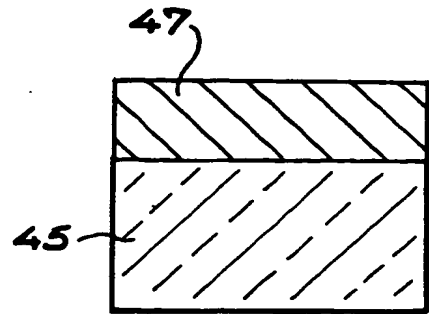


FIG. 4 B

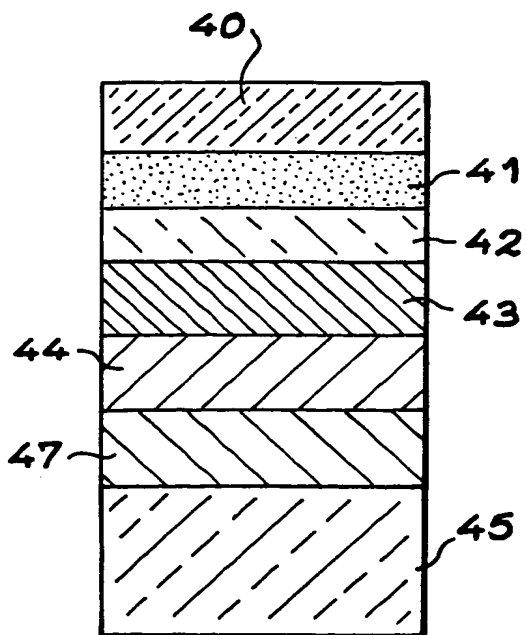


FIG. 4 C

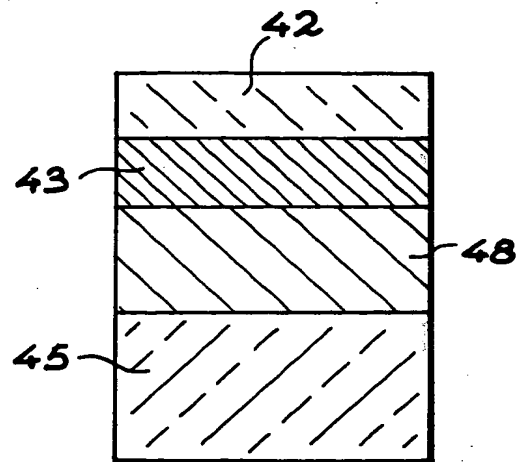


FIG. 4 D

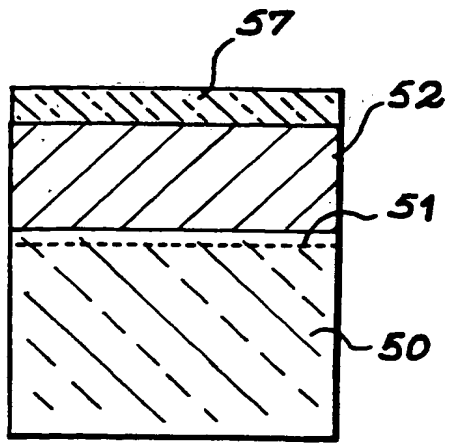


FIG. 5A

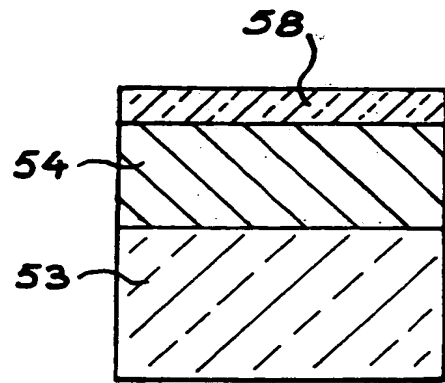


FIG. 5B

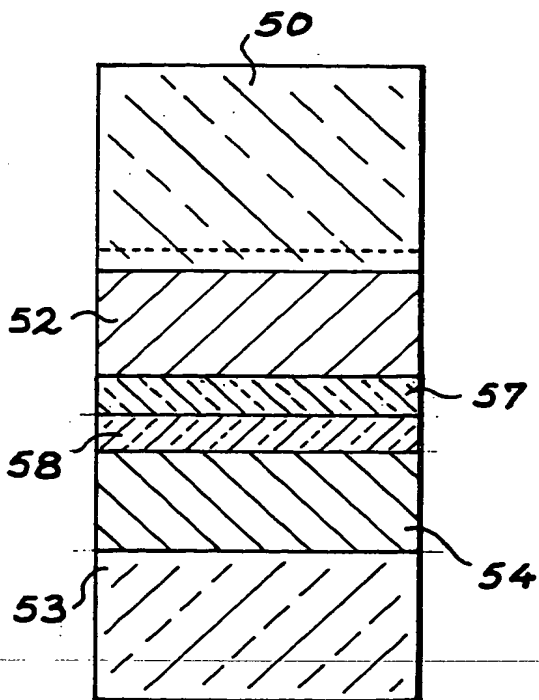


FIG. 5C

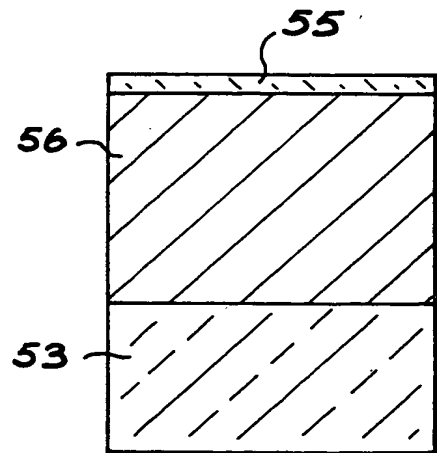


FIG. 5D

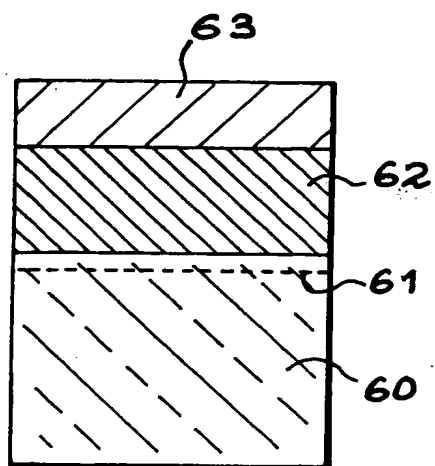


FIG. 6 A

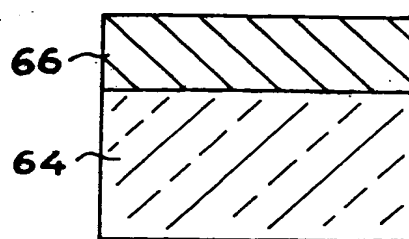


FIG. 6 B

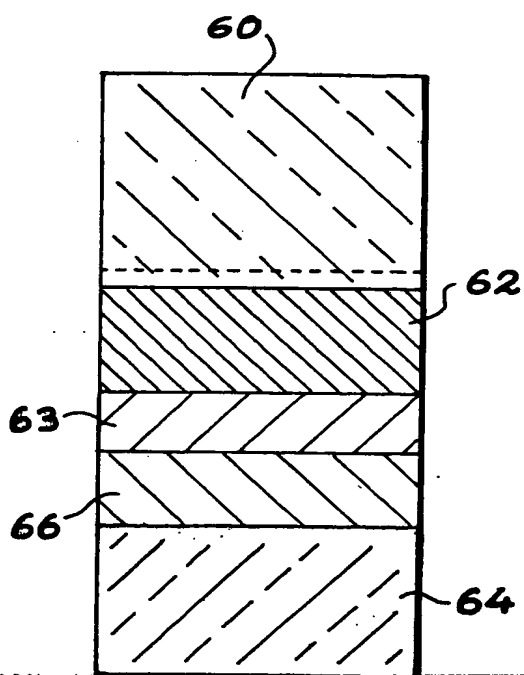


FIG. 6 C

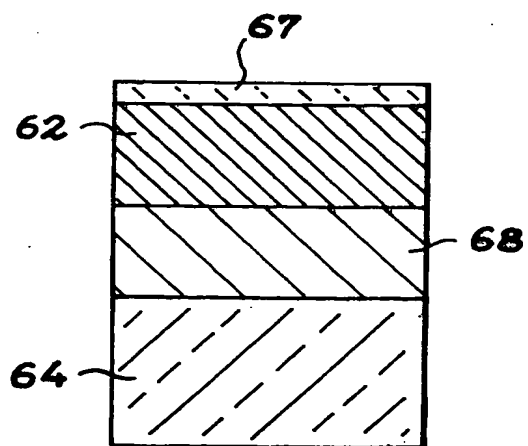


FIG. 6 D

THIS PAGE BLANK (USPTO)
